

# RIESGO DE PRECIPITACIÓN EXTREMA ASOCIADO A EVENTOS DE CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL NORESTE ESPAÑOL

Sergio M. VICENTE-SERRANO<sup>1</sup>, Santiago BEGUERÍA<sup>2</sup>, Juan I. LÓPEZ-MORENO<sup>1</sup>,  
Ahmed M. EL KENAWY<sup>1</sup>, Marta ANGULO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Instituto Pirenaico de Ecología—CSIC, Campus de Aula Dei, P.O. Box 13034, Zaragoza 50080, Spain*

<sup>2</sup> *Estación Experimental de Aula Dei—CSIC, Campus de Aula Dei, P.O. Box 13034, Zaragoza 50080, Spain*  
svicen@ipe.csic.es

## RESUMEN

En este trabajo se analiza, en el noreste español, el riesgo de ocurrencia de precipitaciones extremas asociado a tres patrones de circulación atmosférica: la Oscilación del Atlántico Norte, la Oscilación Mediterránea y la Oscilación del Mediterráneo Occidental. El análisis se ha realizado a una escala de eventos atmosféricos obtenidos de índices de circulación diarios. A partir de las series pluviométricas diarias en 174 observatorios entre 1950 y 2006 se obtuvo la máxima precipitación diaria y la magnitud total registrada durante el evento de circulación. Las series de eventos siguen una distribución General de Pareto, independientemente del signo y el patrón de circulación atmosférica. Mediante la aplicación de análisis probabilísticos y modelización espacial asistida con Sistemas de Información Geográfica se obtuvieron mapas continuos de los parámetros de la distribución General de Pareto, determinándose la probabilidad y el periodo de retorno de precipitaciones de gran intensidad asociada a los eventos de circulación atmosférica.

**Palabras clave:** Precipitaciones extremas, circulación atmosférica, Distribución General de Pareto, periodos de retorno, Noreste de España.

## ABSTRACT

This paper analyses the extreme precipitation risk in North east Spain associated to three atmospheric circulation configurations: the North Atlantic Oscillation, the Mediterranean Oscillation and the Western Mediterranean Oscillation. The analysis has been performed considering an event-based scale, obtained from daily atmospheric circulation indices. Using daily precipitation records in 174 precipitation observatories between 1950 and 2006, we obtained the maximum precipitation intensity and the total precipitation magnitude recorded during the positive and negative circulation events. These precipitation records clearly follow a Generalised Pareto (GP) distribution, both for maximum intensity of precipitation and magnitude but also for positive and negative phases of the three atmospheric circulation indices. We applied a novel method that combined probabilistic analysis and spatial modelling assisted by GIS to determine the magnitude and maximum intensity precipitation probability and the quantile precipitation for any period of years associated to the positive and the negative phases of the three atmospheric circulation patterns.

**Key words:** Extreme precipitation, atmospheric circulation, Generalised Pareto distribution, return periods, North East Spain.

## 1. INTRODUCCIÓN

La enorme complejidad de los procesos de circulación atmosférica se suele resumir mediante procedimiento de clasificación (YARNAL *et al.*, 2001) e índices de circulación (P.ej., JONES *et al.*, 1997), con la finalidad de resumir las más frecuentes configuraciones atmosféricas que afectan el clima de amplias áreas (WALLACE y GUTZLER, 1981). En el hemisferio norte, el principal patrón de circulación atmosférica es la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) (HURRELL, 1997). Sin embargo, existen otros patrones que en la región mediterránea afectan de forma notable la variabilidad del clima, tales como la Oscilación Mediterránea (MO), o la Oscilación del Mediterráneo Occidental (MARTÍN-VIDE y LÓPEZ-BUSTINS, 2006; BRUNETTI *et al.*, 2002). Existen notables diferencias espaciales en la influencia de los patrones de circulación atmosférica sobre las precipitaciones dentro de esta región (LÓPEZ-MORENO y VICENTE-SERRANO, 2008; GONZÁLEZ-HIDALGO *et al.*, 2008), incluso en el rango de unos centenares de kilómetros. Un caso paradigmático es la región mediterránea de la Península Ibérica, donde existe una enorme complejidad en la influencia de circulación atmosférica sobre las precipitaciones (VICENTE-SERRANO y LÓPEZ-MORENO, 2006).

Los índices de circulación atmosférica se calculan habitualmente a escalas mensuales o estacionales. No obstante, aunque estas escalas tienen un gran interés para comprender la variabilidad espacial y temporal de los recursos hídricos, los riesgos relacionados con las precipitaciones torrenciales se suelen analizar a escalas temporales más cortas (de horaria a diaria), ya que las inundaciones asociadas están causadas típicamente por lluvias de carácter muy intenso (WHITE *et al.*, 1997). Las configuraciones de presión atmosférica que caracterizan los patrones de circulación tienen una duración general que va de pocos días a un par de semanas (FELDSTEIN, 2000). Así pues, la obtención de índices de circulación atmosférica a escala diaria puede ser un procedimiento más eficaz que los índices mensuales para determinar el papel de la circulación atmosférica sobre el riesgo de precipitaciones extremas. Algunos estudios han mostrado la utilidad práctica de los índices atmosféricos a esta escala temporal (P.ej., BLESSING *et al.*, 2005; MARTÍN-VIDE y LÓPEZ-BUSTINS, 2007).

En este trabajo se analiza la probabilidad de ocurrencia de eventos pluviométricos extremos asociada a diferentes patrones de circulación atmosférica. La metodología planteada incluye la clasificación de eventos positivos y negativos de diferentes patrones de circulación, cálculos probabilísticos basados en distribuciones de probabilidad paramétricas y la modelización espacial mediante Sistemas de Información geográfica y técnicas de regresión espacial. La metodología se aplica al sector nororiental de la Península Ibérica, una región muy afectada por eventos pluviométricos de elevada intensidad (P.ej., WHITE *et al.*, 1997; LLASAT y RODRÍGUEZ, 1992), y en la que existe una gran variabilidad espacial en la influencia de diferentes patrones de circulación atmosférica (GONZÁLEZ-HIDALGO *et al.*, 2008).

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Base de datos

Se han utilizado 174 observatorios con precipitaciones diarias entre 1950 y 2006 (Fig. 1). Las series fueron obtenidas de acuerdo a un riguroso proceso que incluye la reconstrucción, relleno de lagunas, control de calidad y homogeneidad (BEGUERÍA *et al.* 2008).

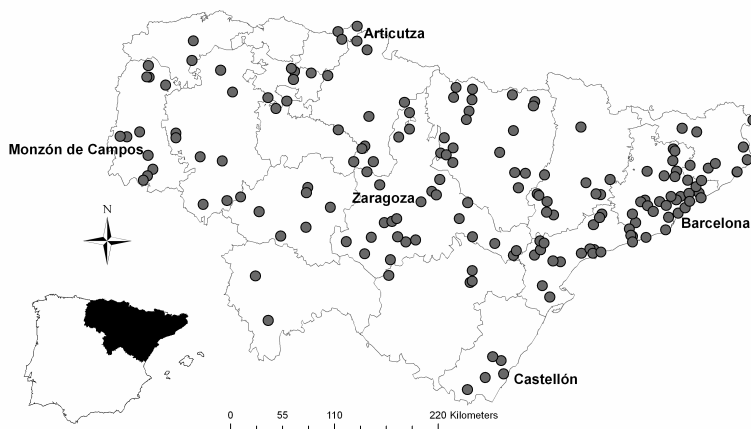


Fig 1. Distribución espacial de los observatorios utilizados

### 2.2. Definición de los eventos de circulación atmosférica

Se han obtenido índices de circulación atmosférica a escala diaria a partir de los valores de presión en superficie en una serie de puntos. Se han obtenido series diarias de los índices de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), de la Oscilación Mediterránea (MO) (PALUTIKOF, 2003) y de la Oscilación Mediterránea Occidental (WeMO) (MARTÍN-VIDE y LÓPEZ-BUSTINS, 2006). Estos patrones de circulación están principalmente activos en invierno, por lo que en este trabajo utilizamos datos exclusivamente invernales (octubre-marzo).

Para calcular los índices diarios se utilizaron datos de presión a nivel del mar procedentes del *ds010.0 Daily Northern Hemisphere Sea Level Pressure Grids dataset* (UCAR/NCAR/CISL/DSS, 1979), que consiste en una retícula de 5° x 5°. Los puntos de presión seleccionados para calcular los índices de circulación se indican en la Fig. 2.

Las fases positivas y negativas de los tres índices de circulación se definieron de acuerdo a un método similar al planteado por JIA *et al.* (2008). Se estableció un umbral de amplitud en las series diarias de  $\pm 0.5$  desviaciones estándar del índice. Para que los eventos fueran representativos se planteó una duración mínima de 8 días consecutivos en los que se cumplía dicho criterio.

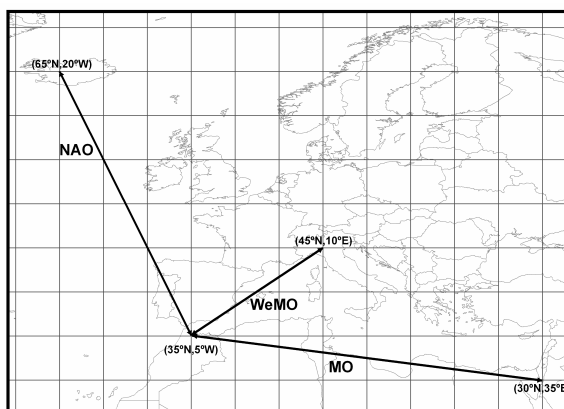


Fig. 2. Puntos de presión a nivel del mar utilizados para calcular los índices de circulación diarios

### 2.3. Análisis probabilístico

Para cada uno de los eventos positivos y negativos se obtuvo la máxima precipitación diaria y la magnitud total de precipitación durante el evento. Únicamente se seleccionó el valor máximo de precipitación para evitar la dependencia serial o persistencia en el proceso, pues la selección de un único valor de precipitación hace que las series se adapten mejor a un proceso aleatorio (BEGUERÍA, 2005).

El riesgo de precipitación relacionado con los tres patrones de circulación se analizó aplicando la teoría de eventos extremos. Se seleccionó la distribución de probabilidad más adecuada para ajustar las series de máxima intensidad y magnitud en cada una de las fases positivas y negativas de los tres patrones de circulación atmosférica. Para ello se utilizaron diagramas de L-momentos y curvas teóricas de diferentes distribuciones (HOSKING, 1990).

La Fig. 3 muestra, como ejemplo, los diagramas de L-momentos para las series de magnitud correspondientes a las fases positivas y negativas de la NAO. Los mismos diagramas para las series de máxima intensidad de la NAO y los correspondientes a la MO y la WeMO (no mostrados) indican un comportamiento similar, en el que los valores estadísticos de las series oscilan alrededor de la curva teórica de la distribución General de Pareto, siendo seleccionada dicha distribución para determinar el riesgo de precipitaciones extremas asociado a los eventos positivos y negativos de la NAO, WeMO y MO.

Los parámetros  $\alpha$  y  $k$  de la distribución General de Pareto puede obtenerse fácilmente a partir del procedimiento de L-momento, de acuerdo a HOSKING (1990):

$$\alpha = \frac{1}{\lambda_1} \left( \frac{1}{2} - 1 \right)$$

donde  $\lambda_1 = \frac{\mu_2}{\mu_1}$ , son los momento de probabilidad ponderados y cuyo cálculo puede consultarse en BEGUERÍA y VICENTE-SERRANO (2006).

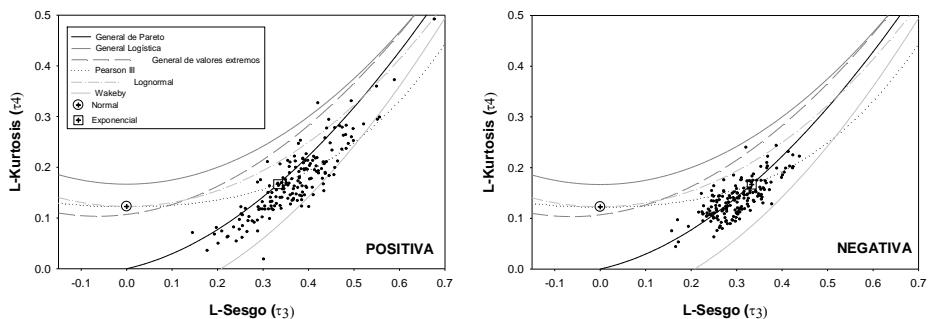


Fig. 3. Diagramas de L-momentos correspondientes a las series de magnitud en los eventos positivos y negativos de la NAO

Dichos parámetro se obtuvieron en cada observatorio de precipitación para las series de magnitud y máxima intensidad de precipitación correspondientes a los eventos positivos y negativos de los tres patrones de circulación atmosférica. Una vez obtenidos los parámetros, es posible calcular la probabilidad de ocurrencia de un evento de magnitud mayor de  $x$  mm durante un determinado evento de circulación mediante:

$$P(X > x | \alpha, \kappa) = \left(1 - \kappa \cdot \frac{(x - \varepsilon)}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\kappa}}$$

Donde  $\varepsilon$  es el origen de la distribución. La precipitación máxima  $X_T$  esperada en un periodo de  $T$  años, asociada a un evento de circulación determinado puede calcularse de acuerdo a:

$$X_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{\kappa} \left[1 - \left(\frac{1}{\lambda T}\right)^{\kappa}\right]$$

Donde  $\lambda$  es el promedio del número de eventos por año.

#### 2.4. Modelización espacial

Para obtener una precisa estimación del riesgo de precipitación asociada a diferentes patrones de circulación se utilizó el procedimiento explicado por BEGUERÍA y VICENTE-SERRANO (2006), basado en la espacialización de los parámetros de los modelos probabilísticos mediante técnicas de regresión espacial y capas digitales implementadas en un Sistema de Información Geográfica. Para ello se utilizaron diferentes modelos digitales del terreno (ver BEGUERÍA *et al.*, 2008b), obteniendo cartografías espaciales de los parámetros de la distribución General de Pareto, correspondientes a las fases positivas y negativas de los tres patrones de circulación, tanto para las series de máxima intensidad, como de magnitud. La probabilidad de ocurrencia de una precipitación diaria de intensidad mayor de 50 mm y de una magnitud total por encima de 100 mm durante el evento, además de los valores máximos esperados en un periodo de 50 años, fueron calculados directamente a partir de los mapas de parámetros.

### 3. RESULTADOS

La Fig. 5 muestra, como ejemplo, las curvas de probabilidad de no excedencia para las series de máxima intensidad diaria correspondientes a los eventos positivos y negativos de la NAO, WeMO y MO en los observatorios de Zaragoza y Barcelona. En ambos observatorios la ocurrencia de eventos pluviométricos de elevada intensidad es más importante durante los eventos negativos, independientemente del patrón de circulación atmosférica. En Zaragoza, la probabilidad de ocurrencia de una precipitación mayor que 50 mm en un día es muy baja ( $>10\%$ ). Sin embargo, dicha probabilidad es mayor durante la ocurrencia de eventos WeMO negativos, en los que la probabilidad es del 9%. En eventos positivos la probabilidad es prácticamente nula.

Las curvas de probabilidad de Barcelona son muy diferentes, ya que la probabilidad puede ser muy alta durante los eventos negativos. La probabilidad de una precipitación superior a 50 mm es alta durante los eventos MO, aunque las mayores probabilidades se registran durante los eventos WeMO, en los que la probabilidad de ocurrencia de una precipitación mayor de 50 mm es muy alta (22.1%), y la probabilidad de ocurrencia de eventos muy intensos también resulta importante ( $>100$  mm, 7.7% y  $>150$  mm, 3.4%).

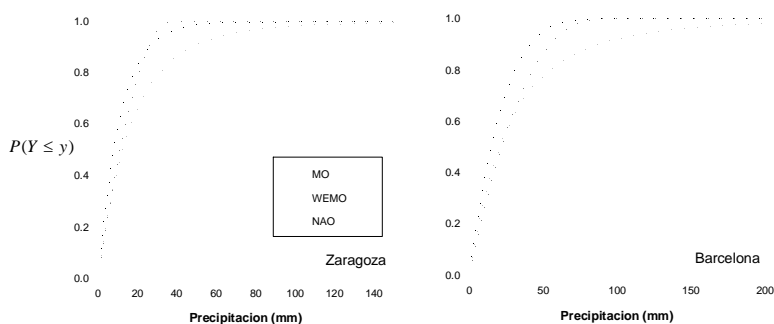


Fig. 4. Curvas de probabilidad de no excedencia correspondientes a la máxima intensidad de precipitación diaria en los eventos positivos y negativos de la NAO, WeMO y MO en los observatorios de Zaragoza y Barcelona. Línea discontinua: eventos negativos. Línea continua: eventos positivos.

La Fig. 5 muestra la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones diarias de intensidad mayor a 50 mm y de magnitud total durante todo el evento de más de 100 mm, correspondiente a los eventos positivos y negativos de la NAO, WeMO y MO. Existen patrones espaciales muy diferenciados en función del signo del evento, pero también entre los tres patrones analizados. La probabilidad es muy baja en los eventos NAO positivos en la mayor parte del área de estudio. En el caso de los eventos negativos la probabilidad se incrementa, principalmente en el este y noreste. Los valores oscilan entre el 15% en el noreste de Cataluña y el 25% en algunas regiones del Pirineo central. Los eventos WeMO positivos muestran una elevada probabilidad de ocurrencia de una precipitación diaria mayor a 50 mm en la costa Atlántica (15-35%). Sin embargo, estos altos valores quedan restringidos

exclusivamente a este sector, ya que en el resto la probabilidad es casi nula. Por el contrario, las fases negativas de WeMO muestran una elevada probabilidad de ocurrencia de una precipitación diaria superior a 50 mm, principalmente en la costa mediterránea y el sector oriental pirenaico ( $> 45\%$  en algunas áreas). En las fases positiva de la MO, la probabilidad de ocurrencia es muy baja; solamente en la zona noroccidental se registran probabilidades entre el 5% y el 15%. Sin embargo, en el caso de los eventos negativos la probabilidad es muy alta en las áreas montañosas del norte y noreste, además de algunas zonas costeras y del interior de Cataluña (probabilidades que exceden el 40% en algunas áreas).

La Fig. 5 también muestra la probabilidad de que se registren más de 100 mm de precipitación durante todo el evento. Se observan diferencias importantes con relación a lo observado para la máxima intensidad de precipitación en 24 horas. Los eventos negativos de la WeMO no muestran una elevada probabilidad de ocurrencia de precipitaciones de magnitud superior a 100 mm durante todo el evento. Esto indica que la precipitación durante los eventos negativos de la WeMO pueden ser muy intensos, pero no sostenidos durante todo el evento, principalmente en la costa Mediterránea. El patrón opuesto se observa en las áreas del norte, donde los eventos positivos de la WeMO se asocian a una elevada probabilidad de ocurrencia de precipitaciones de magnitud superior a 100 mm (amplias áreas con valores superiores al 50%). Por el contrario, los eventos positivos y negativos de la NAO muestran un patrón muy similar al encontrado en el caso de la intensidad máxima diaria, con una probabilidad de ocurrencia de magnitudes superiores a 100 mm por debajo del 15% en el conjunto del área de estudio, con la única excepción de algunas áreas en los sectores pirenaico y en el noroeste peninsular. No obstante, estas probabilidades son muy altas para los eventos negativos de la MO, principalmente en la región pirenaica (probabilidades superiores al 45%), pero también en la costa mediterránea ( $> 25\%$ ) y algunas zonas montañosas de las cordilleras Ibérica ( $>28\%$ ) y Cantábrica ( $>35\%$ ).

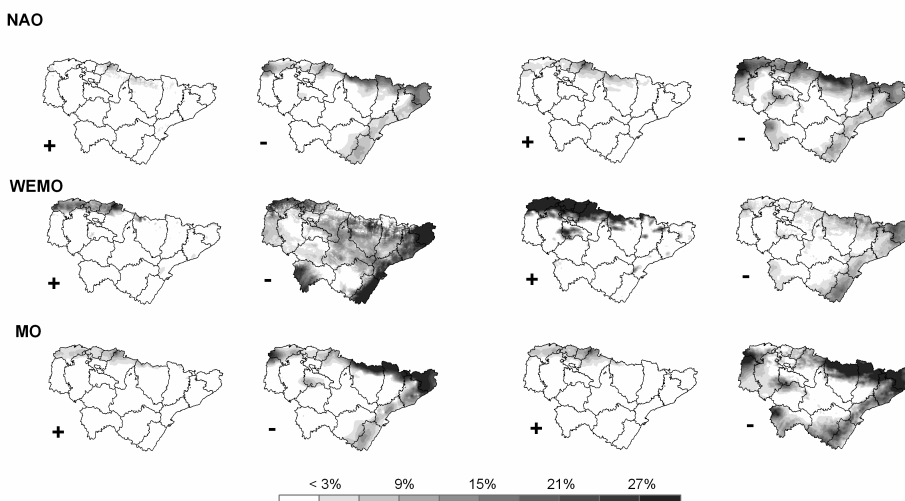


Fig. 5. Probabilidad de ocurrencia de una precipitación diaria de más de 50 mm (izquierda) y de una magnitud total superior a 100 mm durante todo el evento (derecha) correspondiente a las fases positivas y negativas de la NAO, WeMO y MO

La Fig. 6 muestra los valores máximos de precipitación en 24 horas y la magnitud total durante todo el evento esperados en un periodo de 50 años. Las precipitaciones de mayor intensidad se asocian a fases negativas de la WeMO, con valores por encima de 350 mm en algunas áreas del noreste de Cataluña, y entre 250 y 350 mm en la costa norte. En el caso de los eventos negativos de la MO, aunque la Fig. 5 mostraba probabilidades elevadas de ocurrencia de precipitaciones superiores a 50 mm en amplias áreas del Pirineo y en el noreste de Cataluña, la máxima precipitación esperada en 24 horas en un periodo de 50 años es muy inferior a la observada para los eventos negativos de la WeMO. De hecho, los valores más altos son de 145 mm en 24 horas en algunos puntos del Pirineo catalán. Para los eventos negativos de la NAO también encontramos valores similares (alrededor de 150 mm en 50 años) en el Pirineo central y oriental. En el caso de los eventos positivos de los tres patrones de circulación, la máxima precipitación esperada en 24 horas durante 50 años no excede los 60 mm en la mayor parte del área de estudio, y únicamente se esperan valores superiores a 70 mm durante los eventos positivos de la WeMO y MO.

Con relación a la máxima magnitud esperada durante el evento; se esperan elevados valores correspondiendo con eventos negativos de la NAO en el Pirineo, y en las costas cantábrica y mediterránea (por encima de 440 mm en algunos sectores del Pirineo central español). En el caso de los eventos positivos de la NAO solamente en el noroeste de la zona costera cantábrica se esperan valores por encima de 200 mm durante todo el evento. Por el contrario, para los eventos positivos de la WeMO y la MO, y en amplias áreas de la costa norte, se esperan magnitudes por encima de 350 mm en un único evento, mientras que la mayor parte del área de estudio muestra bajas magnitudes de precipitación por encima de 300 mm esperada en un único evento. Con relación a los eventos negativos de la WeMO, no existen las importantes diferencias observadas con otros eventos de circulación, tal como se había observado para la precipitación máxima diaria registrada durante el evento.

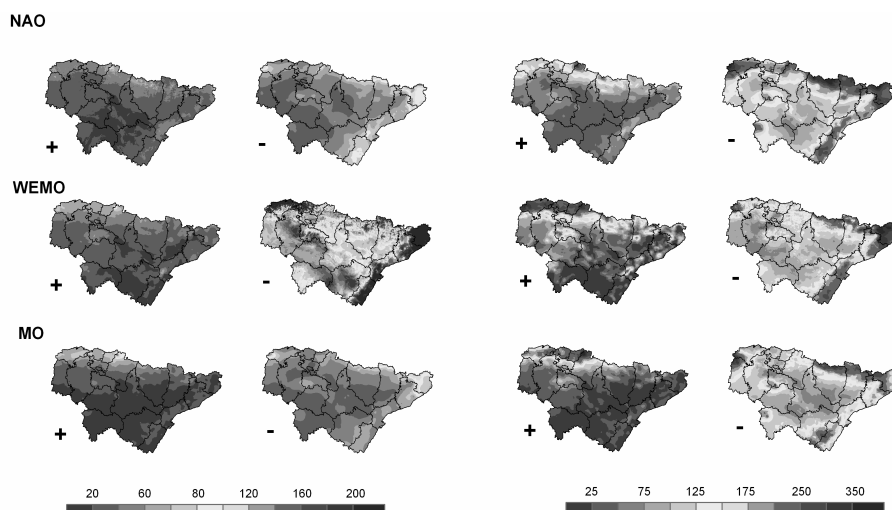


Fig. 6. Máxima precipitación en 24 horas y magnitud total durante el evento esperada en un periodo de 50 años, correspondiente a los eventos positivos y negativos de la NAO, WeMO y MO



#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha mostrado el riesgo de precipitación asociado a eventos positivos y negativos de tres patrones de circulación atmosférica diferentes (Oscilación del Atlántico Norte, Oscilación Mediterránea y Oscilación Mediterránea Occidental) en el cuadrante nororiental de la Península Ibérica. El análisis se ha realizado a la escala diaria necesaria para hacer una adecuada cuantificación de los riesgos relacionados con las precipitaciones extremas. Los resultados han mostrado que los eventos pluviométricos más extremos, correspondientes a la intensidad máxima en 24 horas, se registran durante los eventos WeMO negativos. Por el contrario, los eventos NAO negativos muestran el mayor riesgo de magnitud total durante todo el evento, aunque principalmente en las áreas montañosas.

La metodología utilizada en este trabajo presenta novedades respecto a aproximaciones previas. La escala de eventos atmosféricos parece ser más apropiada que la utilización de índices mensuales ya que permite determinar el riesgo asociado a una configuración atmosférica determinada. De hecho, con la metodología aplicada se puede determinar cuantitativamente la probabilidad de ocurrencia de una determinada precipitación extrema asociada a un patrón de circulación, aspecto de amplias implicaciones para la predicción meteorológica a corto plazo y para la gestión del riesgo.

Se ha comprobado que las series de máxima intensidad en 24 horas, y la magnitud total registrada durante todo el evento atmosférico se ajusta a una distribución General de Pareto, independientemente del signo de los eventos y del patrón de circulación atmosférica. Diferentes estudios habían demostrado que las series pluviométricas de duración parcial se ajustan mediante una distribución General de Pareto (BEGUERÍA, 2005). En este trabajo hemos comprobado el mismo comportamiento en el caso de las precipitaciones agrupadas por eventos de circulación atmosférica, incluso en el caso de los eventos que registran bajas precipitaciones (como es el caso de los eventos positivos de la NAO y MO). Este comportamiento indica la elevada capacidad de adaptación de la distribución General de Pareto a diferentes patrones de circulación atmosférica, independientemente de su tendencia o no para producir precipitaciones de gran intensidad.

Diferentes estudios han mostrado la influencia de diferentes patrones de circulación para explicar la variabilidad pluviométrica en España, fundamentalmente a partir de datos mensuales o estacionales. La aproximación basada en eventos de circulación obtenidos de índices diarios permite identificar algunos aspectos nuevos como, por ejemplo, que el riesgo de precipitaciones extremas asociado a las fases negativas de la NAO está fundamentalmente relacionado con la suma de las cantidades de precipitación durante todo el evento y no a precipitaciones diarias de carácter extremo. Además, también se ha podido comprobar que las precipitaciones asociadas a los eventos de la WeMO muestran un diferente carácter entre la fachada norte (fases positivas) y la costa mediterránea (fases negativas), y aunque se registren altos valores pluviométricos coincidiendo con eventos de ambos signos, en el área mediterránea se asocian con precipitaciones diarias muy intensas, mientras que en la costa cantábrica lo hacen por la suma de precipitaciones a lo largo de todo el evento.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha contado con la ayuda del proyecto CGL2005-04508/BOS, financiado por la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología y FEDER, y por el Programa de grupos de investigación consolidados, financiado por el Gobierno de Aragón.

## 6. REFERENCIAS

- BEGUERÍA, S. (2005). Uncertainties in partial duration series modelling of extremes related to the choice of the threshold value. *Journal of Hydrology* 303: 215–230.
- BEGUERÍA, S. y VICENTE-SERRANO, S.M. (2006). Mapping the hazard of extreme rainfall by peaks-over-threshold extreme value analysis and spatial regression techniques. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 45: 108–124.
- BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S.M., LÓPEZ-MORENO, J.I., GARCÍA-VERA, M.A. y STEPANEK, P. (2008). A complete daily precipitation database for North-East Spain: reconstruction, quality control and homogeneity. *International Journal of Climatology*. En revisión.
- BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S.M., LÓPEZ-MORENO, J.I. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (2008b). Annual and seasonal mapping of peak intensity, magnitude and duration of extreme precipitation events across a climatic gradient, North-east Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*. En revisión.
- BLESSING, S., FRAEDRICH, K., JUNGE, M., KUNZ, T. y LUNKEIT, F. (2005). Daily North-Atlantic Oscillation (NAO) index: Statistics and its stratospheric polar vortex dependence *Meteorologische Zeitschrift* 14: 763-769.
- BRUNETTI, M., MAUGERI, M. y NANNI, T. (2002). Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years. *International Journal of Climatology* 22: 1455-1471.
- FELDSTEIN, S.B. (2000). The timescale, power spectra, and climate noise properties of teleconnection patterns. *Journal of Climate* 13: 4430-4440.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C., LÓPEZ-BUSTINS, J.A., ŠTEPÁNEK, P., MARTÍN-VIDE, J. y DE LUIS, M. (2008). Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000). *International Journal of Climatology*. En revisión.
- HOSKING, J.R.M. (1990). L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Methodological* 52: 105–124.
- HURRELL, J. (1995). Decadal trends in the North-Atlantic Oscillation - regional temperatures and precipitation. *Science* 269, 676-679.
- JIA, X.J., DEROME, J. y LIN, H. (2007). Comparison of the life cycles of the NAO using different definitions. *Journal of Climate* 20: 5992-6011.
- JONES, P.D., JONSSON, T. y WHEELER, D. (1997). Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *International Journal of Climatology* 17: 1433–1450.
- LLASAT, M.C. y RODRÍGUEZ, R. (1992). Extreme rainfall events in Catalonia. The case of 12 November 1988. *Natural Hazards*, 5: 133–151.

- LÓPEZ-MORENO, J.I. y VICENTE-SERRANO, S.M. (2008). Extreme phases of the wintertime North Atlantic Oscillation and drought occurrence over Europe: a multi-temporal-scale approach. *Journal of Climate* 21: 1220-1243.
- MARTIN-VIDE, J. y LOPEZ-BUSTINS, J.A. (2006). The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 26: 1455-1475.
- PALUTIKOF, J.P. (2003). Analysis of Mediterranean climate data: measured and modelled. In: Bolle, H.J. (ed): *Mediterranean climate: Variability and trends*. Springer-Verlag, Berlin
- UCAR/NCAR/CISL/DSS, DOC/NOAA/NWS, MIT/EAPS, GB/MOD/MET, DOC/NOAA/NESDIS/NCDC, DOD/USNAVY/NRL/MRY and DOC/NOAA/NWS/NCEP. (1979). *Daily Northern Hemisphere Sea Level Pressure Grids, continuing from 1899, updated monthly*. Published by the CISL Data Support Section at the National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO (ds010.0).
- VICENTE-SERRANO, S.M. y LÓPEZ-MORENO, J.I. (2006). The influence of atmospheric circulation at different spatial scales on winter drought variability through a semiarid climatic gradient in north east Spain. *International Journal of Climatology* 26: 1427-1456.
- WALLACE, J.M. y GUTZLER, D.S. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review* 109: 784-812.
- WHITE, S., GARCIA-RUIZ, J.M., MARTI, C., VALERO, B., ERREA, M.P. y GÓMEZ-VILLAR, A. (1997). The 1996 Biescas Campsite disaster in the Central Spanish Pyrenees, and its temporal and spatial context. *Hydrological Processes* 11: 1797-1812.
- YARNAL, B., COMRIE, A.C., FRAKES, B. y BROWN, D.P. (2001). Developments and prospects in synoptic climatology. *International Journal of Climatology* 21: 1923-1950.